



Středoškolská technika 2025

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Využití hub ve stavebnictví

Markéta Procházková a Jiří Jirásek

Střední průmyslová škola stavební akademika Stanislava Bechyně Havlíčkův Brod

Jihlavská 628, Havlíčkův Brod

Autor (jméno, kontakt): Jiří Jirásek jirjir23@stavskola.cz,
Markéta Procházková promar23@stavskola.cz

Název projektu: **Využití hub ve stavebnictví**

Škola: Střední průmyslová škola stavební akademika Stanislava
Bechyně Havlíčkův Brod

Obor, ročník studia: **Technické lyceum, 2. ročník**

Vedoucí práce, koordinátor: Ing. Josef Schinzel

Počet stran: 18

Školní rok: 2024/25

Anotace:

V této práci jsme se zaměřili na houbu *Trichoderma reesei* v samoléčivém betonu. Jedná se o slibnou technologii a může výrazně prodloužit životnost stavebních konstrukcí nebo snížit náklady na jejich opravy. Taktéž jsme se podívali na mykokompozit, který je směsí podhoubí a celulózového odpadu, s využitím na výrobu tepelné izolace a náhrady za běžný neekologický polystyrén. Houbami můžeme nahradit dnešní méně udržitelné materiály, díky kterým lze ovlivnit budoucnost stavebnictví.

Annotation:

In this work, we focused on the fungus *Trichoderma reesei* in self-healing concrete, which is a promising technology and can significantly extend the life of building structures or reduce the cost of their repairs. We also looked at mykokompozit, which is a mixture of sponges and cellulose waste, with use for the production of thermal insulation and a substitute for ordinary non-ecological polystyrene. With sponges, we can replace today's less sustainable materials, thanks to which the future of construction can be influenced.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu zdrojů. Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžního projektu jsou shodné. Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V dne:

Podpis:

Obsah

1. Úvod.....	5
2. Teoretická část.....	6
2.1 Trichoderma Reesei	6
2.2 Mykokompozit	7
3. Praktická část	8
3.1 Trichoderma výzkum.....	8
3.1.1 Hlavní oblasti laboratorního testování samoléčivého betonu	8
3.1.2 Metody a přístupy k testování.....	9
3.1.3 Porovnání samoléčivého betonu oproti klasickému betonu	9
3.1.4 Praktický příklad úspory	10
3.2 Testy provedené na mykokompozitu	11
4. Výsledky	13
4.1 Samoléčivý beton	13
4.2 Mykokompozit	14
5. Závěr.....	16
6. Použitá literatura.....	17
7. Přílohy	18

1. Úvod

Než jsme začali zpracovávat toto téma tak jsme hledali nějaký zajímavý materiál a na internetu nás zaujal materiál mykokompozit. Tento materiál je z hub a celulózy a po zjišťování dalších informací jsme narazili i na houbu jménem *Trichoderma reesei*, která díky svým vlastnostem se může přidat do betonu a prodloužit tím jeho životnost. Vznikne tak materiál zvaný samoléčivý beton. Líbilo se nám, že houby jdou využít i v oboru jako je stavebnictví, a tak jsme se rozhodli zpracovat toto téma a podívat se na něj více podrobně.

Mykokompozit představuje inovativní a ekologický materiál, který se vyrábí z hub a zbytků dřeva. Tyto materiály jsou považovány za udržitelnou alternativu k tradičním plastům, polystyrénům či dalším materiálům s vysokou ekologickou zátěží. Díky své biologické rozložitelnosti a dlouhé trvanlivosti nacházejí stále širší využití ve stavebnictví například k zateplení obvodových stěn a podlah.

Trichoderma reesei, má schopnost reagovat na vnější podmínky a opravit vlastní poškození. Jedna z nejvíce zajímavých věcí je vývoj samoléčivého betonu, který je schopný automaticky opravit drobné trhliny a prodloužit tak životnost stavebních konstrukcí. V tomto kontextu se studuje její potenciál k produkci samoléčivého betonu, kde by houby mohly hrát roli v aktivaci mechanismu seberegenerace materiálu při vzniku trhlin. Tímto zvyšováním životnosti stavebních konstrukcí se také snižují náklady na údržbu a opravy objektů.

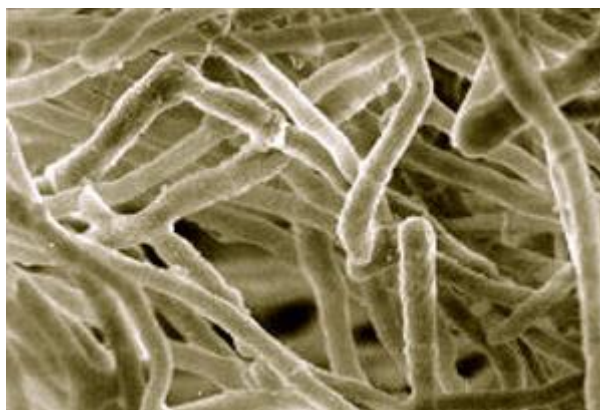
2. Teoretická část

V této části bychom se rádi věnovali houbě jménem **Trichoderma Reesei** s jejími využitelnými vlastnostmi a v druhé části materiálu **mykokompozit**, který se skládá z podhoubí a celulózy.

2. 1 Trichoderma Reesei

Trichoderma je vřeckovýtrusná vláknitá houba, rodu Trichoderma (zelenatka). Průmyslově je hojně využívána pro získávání celulólytických enzymů. V přírodě se vyskytuje v tropických a subtropických oblastech. V současnosti se vyskytuje především v laboratořích a průmyslových prostředích, kde se pěstuje ve velkém měřítku.

Trichoderma Reesei hraje klíčovou roli v novém betonu. Spory (výtrusy) této houby jsou i s živinami přimíchány do betonové směsi. Mezofilická vláknitá houba pak v betonu spí, ale jen do doby, než se objeví první mikroprasklina. S ní se totiž k houbě dostane kyslík a voda. Trichoderma reesei pak začne klíčit a produkovat uhličitan vápenatý, který malé prasklinky zacelí a houba opět upadne do klidového stádia, a tak pořád dokola. Tento “samoléčivý” beton představili vědci z Binghamtonské univerzity v New Yorku, kteří se pro svůj nápad inspirovali lidským tělem. Důvodem spojení speciálního druhu houby a betonu je ekologické a levné řešení, jak opravit malé praskliny staveb a předejít nákladným opravám.



Obr. 1 Trichoderma reesei

2. 2 Mykokompozit

Mykokompozit je materiál, který vznikl v inovativním projektu SAMOROST od Buřinky. Tento materiál vznikne smícháním podhoubí, nebo-li jiným názvem mycelia (část houby v podzemí, šíří se svými vlákny o délkách až stovky metrů a zásobuje houbu živinami) a odpadu s celulózou (obyčejné piliny, pelety nebo starý papír).

Z této přírodní hmoty, kterou nejprve necháváme žít, růst a sílit, pak ji rozdrtíme a určíme jí konkrétní tvar, můžeme vyrobit vlastně cokoli. Není nereálné využít jej také jako ekologickou alternativu ve stavitelství. Mycelium má jednu zásadní úžasnou vlastnost. Když ho rozdrtíte a vložíte do formy, zůstává živé. Jeho další skvělé vlastnost je izolace, lehkost a zároveň pevnost, je plně rozložitelný a má nádhernou originální strukturu. Tým vědců dělal i jednotlivé pokusy za účelem přesvědčení se o jeho vlastnostech (viz praktická část).



Obr. 2 Mykokompozit z podhoubí reishi

3. Praktická část

3. 1 Trichoderma výzkum

Samoléčivý beton je stále ve fázi výzkumu, ale laboratorní testování je klíčové pro ověření jeho funkčnosti, účinnosti a potenciálu v praxi. Cílem těchto testů je zjistit, jak efektivně beton reaguje na poškození, jak dlouho trvá jeho oprava a jaké jsou konkrétní biologické procesy zapojené do samoléčení.

3. 1. 1 Hlavní oblasti laboratorního testování samoléčivého betonu

Testování samoléčivých schopností: Tento test se zaměřuje na schopnost betonu „opravit“ trhliny. Beton se úmyslně poškozuje (např. vytvořením trhlin) a následně se měří doba, jak dlouho trvá, než se trhliny samy zacelí. V případě betonu s biologickými přísadami, jako je *Trichoderma reesei*, se sleduje, zda houba aktivovaná vlhkostí a vzdušným kyslíkem začne produkovat minerální usazeniny, které zaplní praskliny.

Mikrobiologické testy: Testování efektivity mikroorganismů je založeno na sledování, zda se mikroorganismy, jako jsou spory (výtrusy) *Trichoderma reesei*, dokážou aktivovat v přítomnosti vlhkosti a zda jsou schopny produkovat potřebné enzymy nebo minerály pro regeneraci betonu. Tento test zahrnuje sledování životaschopnosti spor v betonu během dlouhodobého skladování, jakož i jejich schopnosti regenerovat beton po aktivaci.

Testy pevnosti a odolnosti: U samoléčivého betonu je kladen důraz na to, zda opravené oblasti dosahují požadované pevnosti. Testy zahrnují měření tlakové pevnosti a odolnosti betonu vůči chemickým vlivům po jeho samoléčebném procesu. Cílem je zajistit, že opravené trhliny budou mít podobné mechanické vlastnosti jako zbytek betonu.



Obr. 3 Ukázka pevnosti samoléčivého betonu

Testování reakce na různé podmínky prostředí: Beton vystavený různým podmínkám (vlhkost, teplota, chemické látky) reaguje odlišně, a proto je důležité testovat samoléčivý

beton v podmínkách, které odpovídají skutečnému prostředí, v němž bude použit. Například testy zahrnují vystavení betonu zmrazování a tání, vysokým teplotám, nebo agresivním chemikáliím (např. solím, kyselinám), což je běžné v exponovaných oblastech.

Dlouhodobé testy životnosti: Kromě krátkodobých testů na samoléčení se provádí i dlouhodobé testy, které sledují schopnost samoléčivého betonu regenerovat po víceletém vystavení různým stresovým faktorům. Tento test je důležitý pro ověření, že samoléčivý proces probíhá i v dlouhodobém časovém horizontu.

Testy na udržitelnost a ekologické vlastnosti: Vzhledem k tomu, že samoléčivý beton může snižovat potřebu chemických oprav a prodlužovat životnost staveb, provádí se i ekologické testy, které zahrnují měření životního cyklu (LCA - Life Cycle Assessment) betonu. Tyto testy hodnotí environmentální dopady materiálů použitých na výrobu betonu a celkovou udržitelnost takovýchto konstrukcí.

3. 1. 2 Metody a přístupy k testování

Mikroskopie: Pomocí mikroskopických technik (např. SEM – skenovací elektronová mikroskopie) je možné sledovat detailní strukturu betonu a vývoj minerálních usazenin v trhlinách, které se tvoří během samoléčebného procesu. Tato metoda pomáhá zhodnotit, jak efektivně se minerály (například uhličitán vápenatý) usazují na trhlinách a jak je materiál regenerován.

Mechanické testy: Na základě testování pevnosti se beton po samoléčebném procesu testuje na tlak a pružnost. Měření zahrnuje porovnání mechanických vlastností betonu před a po samoléčbě. Tento test zajišťuje, že proces samoléčení neoslabuje strukturu betonu.

Testy na absorpci vody: Voda je klíčová pro aktivaci mikroorganismů v betonu. Testování absorpce vody ukazuje, jak dobře beton absorbuje vlhkost a jak vlhkost interaguje s biologickými složkami betonu, což je rozhodující pro účinnost samoléčebného procesu.

3. 1. 3 Porovnání samoléčivého betonu oproti klasickému betonu

1. Vyšší pořizovací náklady

Samoléčivý beton je dražší na výrobu kvůli přidaným technologiím, jako je použití bakterií, hub (např. *Trichoderma reesei*), nebo speciálních zapouzdřovacích materiálů. Cena může být o 30–70 % vyšší než u běžného betonu.

2. Snížení nákladů na údržbu

Samoléčivý beton výrazně snižuje náklady na opravy a údržbu:

- Trhliny se samy zacelují, což eliminuje potřebu zásahů, jako jsou injektáže nebo aplikace těsnicích materiálů.
- Chrání výztuž před korozí, což prodlužuje životnost konstrukce.

Podle studií se ukazuje:

- Úspory na údržbě mohou dosahovat až 50–80 % během životního cyklu konstrukce, zejména u mostů, tunelů nebo přehrad, kde jsou opravy nákladné a složité.
- Například u mostu nebo tunelu může být návratnost investice do samoléčivého betonu dosažena za 10–20 let provozu.

3. Delší životnost konstrukce

Samoléčivý beton může prodloužit životnost konstrukce o 20–40 % oproti klasickému betonu:

- Omezuje šíření trhlin, pronikání vody a vliv agresivních chemikálií.
- Zabraňuje předčasnému selhání konstrukce.

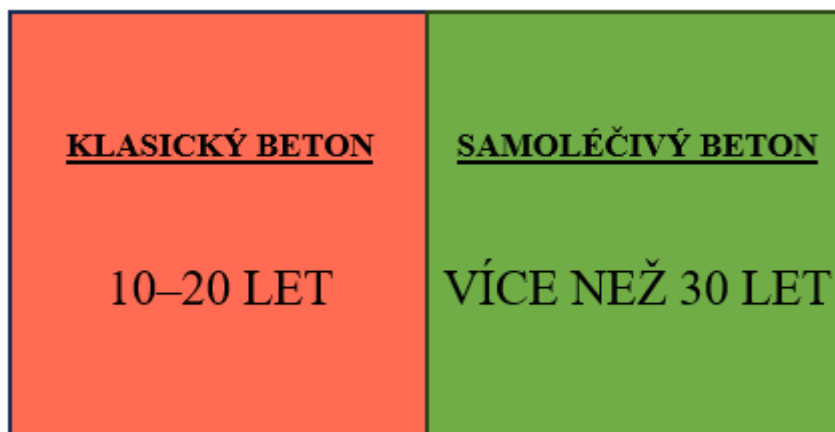
4. Celková ekonomická úspora

I když je počáteční cena vyšší, dlouhodobé výhody mohou přinést celkovou úsporu v rozmezí 20–50 % nákladů na celý životní cyklus. To platí zejména velkých infrastrukturních projektů a konstrukcí vystavených nepříznivým podmínkám (např. chemické prostředí, vlhkost).

3. 1. 4 Praktický příklad úspory

Klasický beton vyžaduje opravy každých 10–20 let, v závislosti na podmínkách.

Samoléčivý beton může prodloužit interval mezi opravami na více než 30 let, čímž se snižují provozní náklady a náklady na odstávky.



Obr. 4 Porovnání klasického a samoléčivého betonu

Samoléčivý beton nachází uplatnění zejména v oblastech, kde je požadována dlouhá životnost staveb a snížení nákladů na údržbu a opravy. Jeho schopnost automaticky zacelovat praskliny ho činí ideálním pro konstrukce, které jsou vystaveny vysokému namáhání, vlivům prostředí nebo jsou obtížně přístupné pro pravidelnou údržbu.

3. 2 Testy provedené na mykokompozitu

Materiál byl podroben několika testům, aby se zjistilo, jaké využití pro něj bude nejlepší.

Tah

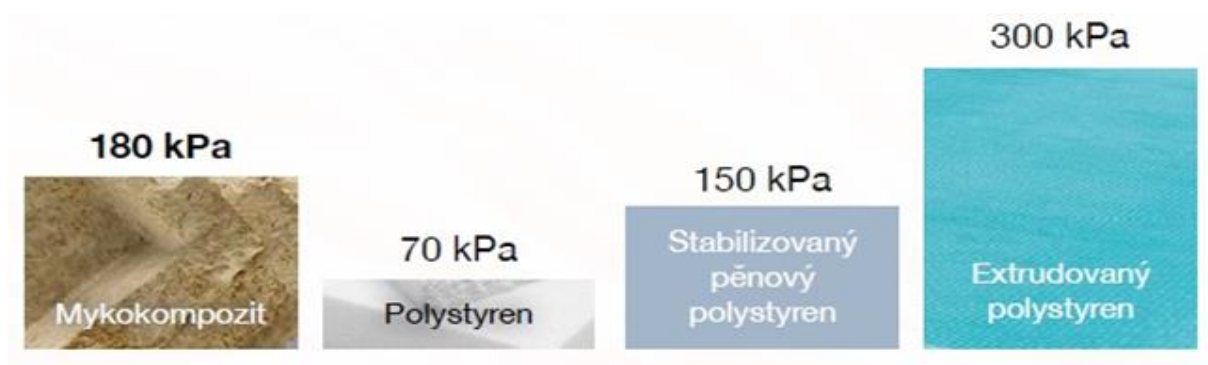
Trámek o rozměrech 4x4x16 cm vyrobený z mykokompozitu byl na obou koncích podepřen a postupně byl na jeho střed lisem vyvíjen tlak, dokud nepraskl. Tah testovaný ohybem, resp. pevnost v ohybu, nám říká, jak se materiál bude chovat, pokud bude plnit například funkci nosníku či trámu. Vlastnosti mykokompozitu jsou v tomto ohledu **srovnatelné s pevností korku**. Je tedy **pevnější než polystyren**, ale méně pevný než dřevěné materiály. Mykokompozit není vhodný pro použití jako trám nebo nosník nesoucí další zatížení. Díky své nízké váze je však **samonosný**. (Test tahu ohybem proběhl na Fakultě stavební ČVUT v Praze.)



Obr. 5 Ukázka tahu

Tlak

Zkouška probíhá postupným působením a zvyšováním síly na krychli o hraně 10 cm, dokud její deformace nedosáhne 10 %. Aby se kostka deformovala o 1 cm, musel lis vynaložit sílu 1,96 kN. Taková síla odpovídá váze 199 kg. Výsledky zkoušky prokázaly, že mykokompozit je vůči působení vnějšímu tlaku **odolnější než obyčejný polystyren** i než **stabilizovaný pěnový polystyren**. Lepší výsledky vykazuje jen extrudovaný polystyren. Obyčejný polystyren se využívá k zateplení fasád domů, stabilizovaný pěnový polystyren je vhodný pro zateplení podlah a extrudovaným polystyrenem se zateplují pochozí střechy. Mykokompozit má tedy potenciál stát se v tomto případě ekologickou **náhradou** polystyrenu. (Test tlaku proběhl na Fakultě stavební ČVUT v Praze.)



Obr. 6 Ukázka tlaku

Rozlupčivost

Zkouška rozlupčivosti demonstruje, jaká je vnitřní soudržnost materiálu. Dokládá například, jestli se dvě k sobě přilepené desky roztrhnou dříve uvnitř hmoty, nebo v lepeném spoji. V praxi souvisí tyto výsledky třeba se způsobem montáže na stěnu. Abychom rozloupili desku z mykokompozitu o rozměrech 42x400x600 mm, bylo potřeba vynaložit tlak 100 kPa, což je obdobné jako v případě fasádního polystyrenu. (Test rozlupčivosti proběhl na Mendelově univerzitě v Brně.)

Hoření

Testování na hoření určuje, zda a jakým způsobem zkoumaný materiál přispívá k šíření ohně. Test potvrdil základní klasifikaci na oheň v kategorii E. Průběh hoření mykokompozitu je nejvíce podobný dřevu. Zásadní rozdíl je ale v tom, že dřevo hoří snadno a rychle, zatímco mykokompozit postupně oddoutnává a ztrácí své pevnostní kvality pomaleji. Při hoření neodkapává, ani neprská žhavé kapky do okolí. (Test hoření byl proveden v Institutu pro testování a certifikaci v Praze.)

4. Výsledky

4. 1 Samoléčivý beton

1. Dopravní infrastruktura

Mosty a viadukty - zabraňuje pronikání vody a korozivních látek, což snižuje riziko degradace betonových konstrukcí.

Dálnice a silnice - samoléčivý beton snižuje náklady na opravy a prodlužuje životnost vozovek.

Tunely - zacelování trhlin v tunelech pomáhá předcházet zatékání a zvyšuje jejich bezpečnost.

2. Vodohospodářské stavby

Přehrady a hráze - chrání před průsakem vody a zvyšuje odolnost vůči tlakovému namáhání.

Kanalizace a potrubí - samoléčivý beton zabraňuje erozi a prosakování odpadních vod.

Vodní nádrže a čističky odpadních vod - prodlužuje životnost konstrukcí vystavených agresivnímu prostředí.

3. Pozemní stavby

Výškové budovy a obytné domy - snižuje potřebu údržby a zajišťuje dlouhodobou integritu betonových prvků.

Podzemní garáže a základy - chrání proti pronikání vlhkosti a chemikálií.

4. Průmyslové stavby

Sklady a továrny - zlepšuje odolnost podlah a stěn vůči mechanickému a chemickému namáhání.

Energetické stavby - například chladicí věže, elektrárny nebo větrné turbíny.

5. Mořské a pobřežní stavby

Přístavy a mola - samoléčivý beton odolává vysoké salinitě a agresivnímu mořskému prostředí.

Podmořské konstrukce - zlepšuje těsnost a prodlužuje životnost částí vystavených vysokému tlaku a korozi.

6. Historické památky a renovace

Použití při opravách historických betonových konstrukcí, kde je nutné zachovat estetiku a funkčnost bez častých zásahů.

Samoléčivý beton je tedy ideálním materiálem pro projekty, kde je klíčová dlouhodobá odolnost, minimální údržba a ochrana proti nepříznivým vlivům prostředí.



Obr. 7 Mosty



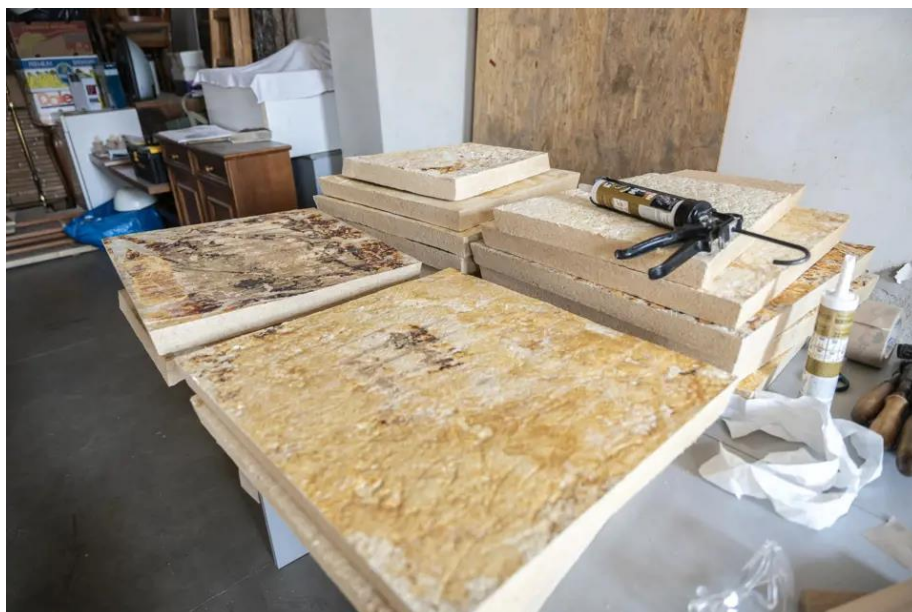
Obr. 8 Chladicí věže

4. 2 Mykokompozit

Výsledky laboratorního testování prokázaly, že mykokompozitem můžeme nahradit téměř každý polystyren ve stavebnictví: pro zateplení obvodových zdí a střech. Díky bezodpadové tvarovatelnosti a větší odolnosti vůči požáru lze mykokompozit použít i k zateplení interiérů s různorodou typologií povrchů pro zvukovou difuzi a estetiku. Materiál může být použit také za účelem minimalizace tepelných mostů.



Obr. 9 Mykokompozitový nábytek



Obr. 10 Mykocompozitové desky

5. Závěr

Cílem tohoto projektu bylo poukázat na využití hub a jejich vlastností, které můžeme použít do různých staveb, např. základy u obytných domů, nosných částí mostů a jako izolační nebo dekorační prvky. Velké překvapení pro nás bylo hojné použití hub ve stavebnictví, protože by nás nikdy nenapadlo, že houby mohou být takto nápomocné. Doufáme, že se houby budou nadále zkoumat a pomůžou v budoucnu ke tvoření nových ekologických konstrukcí.

6. Použitá literatura

Nový beton, který nestárne díky houbám, 2024. estav.cz. [online]. [cit. 2024-12-21].
Dostupné z: [Nový beton, který nestárne díky houbám - ESTAV.cz](https://estav.cz)

Trichoderma reesei, 2024. sciencedirect.com.[online]. [cit. 2024-12-21]. Dostupné z:
[Trichoderma reesei - přehled | Témata ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Samoléčivý beton hledá inspiraci v lidském těle, drobné praskliny zahojí houba, 2024.
plus.rozhlas.cz. [online]. [cit. 2024-12-21]. Dostupné z: <https://plus.rozhlas.cz/samolecivy-beton-hleda-inspiraci-v-lidskem-tele-drobne-praskliny-zahoji-houba-7174814>

Mykokompozit produktový list, 2024. buřinka.cz. [online]. [cit. 2024-12-21]. Dostupné z:
<https://www.burinka.cz/media/2024/04/20240424-produktovy-list-mykokompozitu.pdf>

Mykokompozit je materiál budoucnosti, 2023. buřinka.cz. [online]. [cit. 2024-12-21].
Dostupné z: <https://www.burinka.cz/aktuality/mykokompozit-je-material-budoucnosti/>

7. Přílohy

Obrázek 1: Trichoderma reesei Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Trichoderma_reesei [citováno 23. 12. 2024]

Obrázek 2: Mykokompozit z podhoubí reishi Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky-foto/prvni-stavba-z-podhoubi-bude-slouzit-ke-kempovani-jmenuje-se-samorost-a-pripomina-mlade-bedly-33339.html?photo=3> [citováno 23. 12. 2024]

Obrázek 3: Ukázka pevnosti samoléčivého betonu Dostupné z: <https://imaterialy.cz/rubriky/beton/odolnost-vysokohodnotnych-betonu-vuci-klimatickemu-zatizeni-44575-html/> [citováno 23. 12. 2024]

Obrázek 4: Porovnání klasického a samoléčivého betonu Dostupné z: vlastní

Obrázek 5 Test tahu Dostupné z: <https://www.burinka.cz/aktuality/mykokompozit-je-material-budoucnosti/> [citováno 29. 12. 2024]

Obrázek 6: Test tlaku Dostupné z: <https://www.burinka.cz/aktuality/mykokompozit-je-material-budoucnosti/> [citováno 29. 12. 2024]

Obrázek 7: Mosty Dostupné z: <https://www.metrostav.cz/cs/nase-technologie/mosty> [citováno 29. 12. 2024]

Obrázek 8: Chladicí věže Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/chladici-soustavy-tepelnych-elektraren> [citováno 11. 1. 2025]

Obrázek 10: Nábytek Dostupné z: <https://www.dumazahrada.cz/galerie-stavba-rekonstrukce-dum-byt-izolace-nabytek-mycelium-ekologie/?photo=5> [citováno 2. 1. 2025]

Obrázek 11: Mykokompozitové desky Dostupné z: <https://www.dumazahrada.cz/galerie-stavba-rekonstrukce-dum-byt-izolace-nabytek-mycelium-ekologie/?photo=6> [citováno 2. 1. 2025]